

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 5 : B23K 26/12, 26/14	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/04306 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 3. März 1994 (03.03.94)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP93/02123 (22) Internationales Anmeldedatum: 10. August 1993 (10.08.93) (30) Prioritätsdaten: P 42 26 620.3 12. August 1992 (12.08.92) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): THYSEN STAHL AG [DE/DE]; Kaiser-Wilhelm-Str. 100, D-47166 Duisburg (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : BEYER, Eckhard [DE/DE]; Faggenwinkel 24, D-52169 Roetgen-Rott (DE). PREISSIG, Kai-Uwe [DE/DE]; Haarstrang 54, D-44289 Dortmund (DE). PETRING, Dirk [DE/NL]; Feldbiss 125, NL-6462 HE Kerkrade (NL). BINGENER, Dieter [DE/DE]; Dornseifer Str. 30, D-57223 Kreuztal (DE). RIEHN, Hans-Dieter [DE/DE]; Paul-Loebe-Str. 117, D-45966 Gladbeck (DE).	(74) Anwalt: COHAUSZ & FLORACK; Kanzlerstraße 8A, D-40472 Düsseldorf (DE). (81) Bestimmungsstaaten: FI, JP, NO, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: PROCESS FOR THE LASER BEAM CUTTING OF STRIP OR PLATE WORKPIECES, ESPECIALLY MAGNETIC STEEL SHEETS

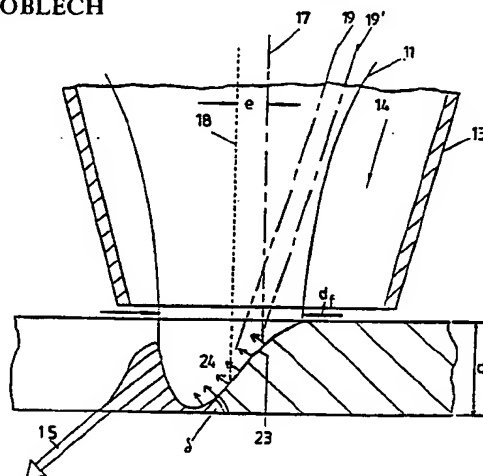
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM LASERSTRAHLSCHNEIDEN VON BAND- ODER PLATTENFÖRMIGEN WERKSTÜCKEN, INSBESONDERE VON ELEKTROBLECH

(57) Abstract

The invention relates to a process for the laser beam cutting of strip or plate workpieces at high speed, especially over 100 m/min. The laser beam melts the workpiece with the formation of a vapour capillary at the cutting point and the melt is driven off by a cutting gas consisting of an inert gas/hydrogen mixture. In order to maintain the vapour capillary, the hydrogen component of the cutting gas mixture is set so high and this cutting gas mixture is taken to the surface of the melt at the cutting point at such a pressure and with such a pressure distribution that the temperature at the surface of the melt is kept at boiling point and the melt is continuously driven out of the cutting seam on the side away from the cutting direction of the vapour capillary.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Laserstrahlschneiden von band- oder plattenförmigen Werkstücken mit hohen Geschwindigkeiten, insbesondere über 100 m/min. Mit dem Laserstrahl wird das Material des Werkstückes unter Bildung einer Dampfkapillare an der Schnittstelle aufgeschmolzen und dabei die Schmelze mittels eines Schneidgases ausgetrieben, das aus einem Inertgas-Wasserstoff-Gemisch besteht. Zur Aufrechterhaltung der Dampfkapillare wird der Wasserstoffanteil des Schneidgasgemisches derart hoch eingestellt und dieses den Laserstrahl umhüllende Schneidgasgemisch der Oberfläche der Schmelze an der Schnittstelle mit einem solchen Druck und einer solchen Druckverteilung zugeführt, daß einerseits die Temperatur an der Oberfläche der Schmelze auf Verdampfungstemperatur gehalten und andererseits die Schmelze kontinuierlich auf der in Schneidrichtung der Dampfkapillaren abgewandten Seite aus der Schnittfuge ausgetrieben wird.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NE	Niger
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IE	Irland	PT	Portugal
BY	Belarus	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slowakische Republik
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Lettland	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	MC	Monaco	UA	Ukraine
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	ML	Mali	UZ	Usbekistan
ES	Spanien	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Verfahren zum Laserstrahlschneiden von band- oder plattenförmigen Werkstücken, insbesondere von Elektroblech

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Laserstrahlschneiden von band- oder plattenförmigen Werkstücken, insbesondere von Elektroblech mit einer Dicke von < 1 mm, insbesondere $< 0,5$ mm, bei dem ein von einer Laserstrahlquelle ausgehender Laserstrahl den Werkstoff unter Bildung einer Dampfkapillare an der Schnittstelle aufschmilzt und dabei die Schmelze von einem Wasserstoff enthaltenden inerten Schneidgas ausgetrieben wird.

Beim konventionellen Laserstrahlschneiden werden beispielsweise ein $1,5$ kW CO_2 -Laser und eine Standard-Fokussiereinrichtung verwendet, die zu Intensitäten des Fokussierbereichs von etwa 10^6 W/cm² führen. Bei diesem Schneiden findet an der Schnittfront des Metalls eine

Fresnelabsorption statt, bei der eine Verdampfung des Werkstoffes vernachlässigt werden kann.

Das Laserstrahlschneiden metallischer Werkstücke, insbesondere das Schneiden von rostfreiem Stahlblech mit einer Dicke von unter 1 mm, ist aus der DE 36 19 513 A1 bekannt. Das schneidaktive Gas im inerten Schneidgas ist Sauerstoff. Dieser Sauerstoff hat einen Anteil von 30 bis 90 Vol.-% des Schneidgases. Er soll der chemischen exothermen Reaktion mit dem Stahl zur Erzeugung von zusätzlicher Wärmeenergie dienen, um so den Schneidprozeß zu beschleunigen. Außerdem soll der Sauerstoff zusammen mit dem Schneidgas die im Schneidbereich entstehende Schmelze aus der Schnittfuge des Blechs austreiben. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Oxydationsprodukte nicht vollständig aus der Schnittfuge ausgetrieben werden, so daß keine von Oxidationsprodukten im wesentlichen freien Schnittkanten erhalten werden. Außerdem entsteht aufgrund der chemischen exothermen Reaktion eine vergleichsweise große Wärmeeinflußzone seitlich des Schnittbereichs, was zu einer Schädigung des Werkstückes, insbesondere eines Bleches und der sich gegebenenfalls darauf befindlichen Beschichtung führt.

Seit langem wird das Trennen von Elektroblechen als ein interessantes Anwendungsgebiet für das Laserschneiden angesehen. Bei einem bekannten Verfahren dieser Art (DE 27 43 544 A1) wird ein CO₂-Laser mit einer Leistung von einigen hundert Watt zum Schneiden von Elektroblech einer Dicke von unter 1 mm eingesetzt. Beim Laserstrahlschneiden wird das Werkstück an der Trennstelle aus einer Düse mit einem Sauerstoff enthaltenden Gas beaufschlagt, wobei der Druck vor der Düse über 5 bar beträgt. Bei diesem Schneiden können

Schnittgeschwindigkeiten von knapp 10 m/min erreicht werden. Solche Schnittgeschwindigkeiten sind jedoch bei Elektrolech wirtschaftlich uninteressant. Darüber hinaus führen solche geringen Geschwindigkeiten wegen der damit verbundenen Erwärmung der der Schnittfuge benachbarten Zonen eines insbesondere kornorientierten Elektroleches zu einer nicht gewünschten Beeinflussung seiner magnetischen Eigenschaften. Deshalb hält die Fachwelt den Einsatz von Hochleistungslasern, insbesondere eines CO₂-Lasers, bei dem das Werkstück vorzugsweise unter Verwendung von Sauerstoff und/oder Stickstoff als Schneidgas geschnitten werden soll, für das Trennen von Elektrolech, insbesondere kornorientiertem Elektrolech, für ungeeignet (Stahl und Eisen 110 (1990) Nr. 12, Seiten 147 - 153).

Anderweitig sind jedoch vielfältige Überlegungen und Experimente angestellt worden, um das Laserstrahlschneiden von Werkstücken mit größerer Geschwindigkeit durchführen zu können. Beispielsweise ist es aus WO 88/01553 bekannt, die Achse der Laserstrahlung, die von einer Düse zur Zuführung von Gas zur Schnittstelle umgeben ist, in bezug auf die Achse des Druckzentrums der Gasdüse zu versetzen, und zwar hin zum ungeschnittenen Blech. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, daß das Material erst geschmolzen werden muß, um es dann an einer nachfolgenden Stelle besser aus der Schnittfuge austreiben zu können. Diese Art des Laserstrahlschneidens läßt sich jedoch nicht bei dünnen Blechen erfolgreich anwenden, wenn sie mit hohen Schnittgeschwindigkeiten geschnitten werden sollen.

Bei einem gerade bekannt gewordenen Verfahren zum Laserstrahlschneiden der eingangs genannten Art (DVS-Berichte 135, 1991, Seiten 12 bis 15) lassen sich

bei optimal aufeinander abgestimmten Parametern, wie Strahlqualitätskennzahl K, Fokussierkennzahl F und fokussierte Intensität mit einem vorgegebenen Laserstrahltyp, vorzugsweise einem CO₂-Laser, Schnittgeschwindigkeiten von etwa 100 m/min bei einer Blechdicke von 0,25 mm und einer Fe-Legierung als Werkstoff erzielen. Dabei macht es keinen wesentlichen Unterschied, ob dem Schneidgas Wasserstoff beigemischt wird oder ob das Schneidgas primär aus Sauerstoff besteht, denn mit Sauerstoff wurden nur geringfügig größere Schnittgeschwindigkeiten erzielt.

Ferner ist ein Schneidverfahren bekannt (DE 39 34 920), bei dem mit einem Laserstrahl Schlitze geschnitten werden können, wobei das Schneiden unter Einsatz eines Luftstrahls oder Sauerstoffstrahls erfolgt, der vor dem Auftreffpunkt des Laserstrahls auf die Scheibe gerichtet ist. Mittels eines solchen, aus reaktivem Gas bestehenden Strahls lassen sich breite Schlitze herstellen und durch das Druckgas die Schmelze aus dem Schlitz austreiben. Ein solches Verfahren unterscheidet sich von dem erfindungsgemäßen Verfahren, daß mit einem inerten Schneidgas arbeitet, wegen des reaktiven Schneidgases grundsätzlich.

Bei einem Verfahren der eingangs genannten Art, das Gegenstand einer älteren Patentanmeldung (P 41 23 716.1-34) ist, ist vorgesehen, daß die zentrale Achse des Laserstrahls innerhalb eines auf das Werkstück gerichteten, Wasserstoff enthaltenden inerten Schneidgasstrahls liegt. Der Schneidgasstrahl ist zur Strahlachse des Laserstrahls in Schneidrichtung vorlaufend und so gerichtet, daß die Schmelze kontinuierlich aus der Schnittfuge ausgetrieben wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verfahren der eingangs genannten Art für vorgegebene Werkstoffe und Werkstückdicken bezüglich der bisher maximal erzielbaren Schnittgeschwindigkeit zu verbessern, ohne daß eine Verminderung der Qualität der Schnittkanten in Kauf genommen werden muß.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Aufrechterhaltung der Dampfkapillare der Wasserstoffanteil des Schneidgases derart hoch eingestellt wird und das den Laserstrahl umhüllende inerte Schneidgas der Oberfläche der Schmelze an der Schnittstelle mit einem solchen Druck und einer solchen Druckverteilung zugeführt wird, daß die Dampfkapillare unten geschlossen bleibt, die Temperatur an der Oberfläche der Schmelze auf Verdampfungs-temperatur gehalten und die Schmelze kontinuierlich auf der der Schneidrichtung abgewandten Seite der Dampfkapillare aus der Schnittfuge ausgetrieben wird.

Für die Erfindung ist die Erkenntnis von Bedeutung, daß die Grenzen der klassischen Fresnelabsorption für die Laserstrahlung durch die notwendige hohe Intensität überschritten werden. Durch partielle Verdampfung in Verbindung mit modifizierter Wechselwirkungsgeometrie bilden sich ein Plasma, das zur Abschirmung der Laserstrahlung führen kann, und eine Dampfkapillare. Die Dampfkapillare wird nach der Erfindung genutzt, um zu höheren Schnittgeschwindigkeiten zu kommen. Es ergibt sich nämlich ein Schmelzfluß im Schnittbereich parallel zur Werkstückoberfläche um die Dampfkapillare herum und ein Schmelzaustrieb hinter der Dampfkapillare aus der Schnittfuge nach unten. Das allein reicht allerdings

nicht aus, denn bei falscher Prozeßführung kann dies zu einem Stau der Schmelze führen, verbunden mit der Gefahr der Überhitzung der Schmelze und der dieser benachbarten Randzonen der Schnittfuge sowie einer Verbreiterung der Schnittfuge. Diese Erscheinungen können dazu führen, daß die gewünschten Geschwindigkeitssteigerungen nicht oder jedenfalls zu einem erheblichen Teil nicht erreicht werden.

Da erfindungsgemäß neben der Einstellung des Druckes des Schneidgasgemisches Wasserstoff mit einem möglichst hohen Anteil zum Schneidgas beigemischt wird, können die vorbeschriebenen unerwünschten Erscheinungen begrenzt werden. Es entsteht zwar auch ein durch Verdampfung des Werkstoffes bedingtes Plasma, doch wird eine abschirmende Wirkung des Plasmas in bezug auf die Laserstrahlung praktisch vermieden, und vor allem treten auch keine Behinderungen des Austriebs der Schmelze auf. Wasserstoff hat nämlich eine durch seine leichten Moleküle bedingte kühlende Wirkung, z.B. durch erhöhte Rekombinationsrate per Dreierstoß (Elektron-Ion-Wasserstoff), so daß die Gefahr der Überhitzung der Schmelze, des verdampften Werkstoffs und des sich ausbildenden Plasmas vermieden werden kann. Ferner ist von Bedeutung, daß die Oberflächenspannung der Schmelze durch den Wasserstoff verringert wird, was dem Aufstauen der Schmelze und einer damit verbundenen Behinderung des Austriebs der Schmelze entgegenwirkt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden deshalb bei gegenüber dem Stand der Technik weiter erhöhten Schnittgeschwindigkeiten gratfreie Schnittkanten und eine geringstmögliche Beeinflussung der an den Schnittkanten angrenzenden Zonen des zu trennenden Materials erzielt,

was insbesondere für kornorientiertes Elektroblech von Bedeutung ist.

Im vorbeschriebenen Sinne ist es vorteilhaft, wenn Wasserstoff bis zu max. 25 Vol.-% im Schneidgas enthalten ist. Es konnten Geschwindigkeitssteigerungen von ca. 15% gegenüber dem Stand der Technik gemäß dem genannten DVS-Bericht erreicht werden.

Geeignete Drücke für das inerte Schneidgas bei einem CO₂-Laser liegen zwischen 3 bar und 8 bar. Bei einem Nd:YAG-Laser ist es vorteilhaft, wesentlich höhere Drücke, und zwar bis zu 50 bar, anzuwenden.

Empfehlenswert ist es, daß als inertes Schneidgas Stickstoff oder Argon verwendet wird. Es sind dies industriell verfügbare preiswerte Gase. Während sich Stickstoff in der Regel besonders für Werkstücke aus Eisenmetallen eignet, kann Argon schwerpunktmäßig bei Nichteisenmetallen vorteilhaftes Inertverhalten zeigen.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung, die bei einer großen Wechselwirkungsfläche der Laserstrahlung mit dem Werkstück die Herstellung einer schmalen Schnittfuge erlaubt, ist vorgesehen, daß der Laserstrahl auf einem ovalen Brennfleck mit in Schneidrichtung verlaufender Hauptachse fokussiert ist. Hiermit wird die Intensität der Laserstrahlung bezogen auf die Schnittfront verringert und damit eine unerwünschte starke Verdampfung des Werkstoffes mit entsprechend starker Plasmabildung vermieden. Weiter wirkt sich günstig für die hohe Schnittgeschwindigkeit aus, wenn der fokussierte Brennfleck des Laserstrahls auf halber Höhe des Werkstückes, in der Mitte der Werkstückdicke, gehalten wird.

Nach einer Ausgestaltung der Erfindung wird das inerte Schneidgas exzentrisch zur Laserstrahlachse geführt und trifft vorlaufend auf die Schnittstelle auf. Weiter ist von Vorteil, wenn das inerte Schneidgas unter einem Winkel $< 90^\circ$ auf die Schnittstelle auftrifft. Allen Ausgestaltungen ist gemeinsam, daß das Druckzentrum des inerten Schneidgases zum ungeschnittenen Werkstück hin verlegt ist. Infolge dieser Einstellung entsteht beim Eintritt des Gasstrahls in die Schnittfuge ein transversaler Druckgradient. Dieser bedingt einen Strömungsanteil in Richtung der Längserstreckung der offenen Schnittfuge, so daß ein schnellerer Abtransport der Schmelze und des Dampfes aus dem Wechselwirkungsbereich der Laserstrahlung mit dem Werkstoff des Blechs, wie auch eine geringere Verdampfung erreicht wird. Beim Austritt der Schmelze wirken die Verringerung der Oberflächenspannung der Schmelze durch

den Wasserstoff des Schneidgases und der transversale Druckgradient des Schneidgases zusammen, um den Austritt der Schmelze zu beschleunigen.

Um die Laserstrahlung möglichst stark fokussieren zu können, wird eine Laserstrahlung niedriger Modenordnung gewählt, d.h. eine möglichst große Strahlqualitätskennzahl K von vorzugsweise $> 0,5$.

Um das Austreiben der Schmelze aus der Schnittfuge auf der der Schneidrichtung abgewandten Seite der Dampfkapillare zu unterstützen, kann zusätzlich ein gasförmiger, flüssiger oder aus Partikeln bestehender Zusatz-Strahl angewendet werden.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine Laserstrahlschneidvorrichtung in perspektivischer, schematischer Darstellung und

Fig. 2 einen Längsschnitt durch den Schneidbereich eines Werkstückes der Dicke d in schematischer Darstellung.

Eine Schneidvorrichtung 25 mit einem Laserstrahl 21 wird über ein Werkstück 10 geführt, wobei die Laserstrahlung 11 mit einer Fokussieroptik 12 fokussiert ist. Die fokussierte Laserstrahlung 11 ist auf das als Blech dargestellte Werkstück 10 gerichtet, das eine Dicke d hat. Wenn das Blech 10 in Richtung eines Pfeils 22 gegenüber der Schneidvorrichtung 25 bewegt wird, erzeugt der Laserstrahl 11 im Blech eine Schnittfuge 16.

Die Schnittgeschwindigkeiten betragen z.B. bei Blechen von unter 1 mm bis zu 250 m/min und mehr. Die Schneidvorrichtung 25 kann beispielsweise in Längs- und/oder Querteilanlagen sowie in Besäumanlagen angewendet werden, wo das Blech z.B. vom Coil abgewickelt wird.

Die Fokussieroptik 12 weist eine Fokussierlinse auf, mit der die Laserstrahlung 11 so fokussiert ist, daß der Fokus im Bereich der halben Blechdicke d liegt, vgl. Fig. 2. In Anbetracht der dünnen Bleche, die es zu schneiden gilt, und vor allem wegen der erwünschten schmalen Schnittfuge 16 soll die Fokussierung möglichst stark, der Fokus also möglichst klein sein. Das kann u.a. erreicht werden, indem die Laserstrahlung eine möglichst niedrige Modenordnung aufweist.

Der Laserstrahl 21 ist von einer Gasdüse 13 für das Schneidgas 14 umgeben. Das Schneidgas 14 trifft in Richtung der Laserstrahlung 11 auf den Schneidbereich 20 des Blechs 10. Es besteht aus einem Inertgas, wie Stickstoff oder Argon, welches vornehmlich dem Austrieb der Schmelze 15 dient, die beim Schneiden durch die Laserstrahlung 11 erzeugt wird. Außerdem ist dem Schneidgas Wasserstoff beigemischt, dessen Wirkung weiter unten beschrieben wird.

Beim Schneiden mit Geschwindigkeiten, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen, entsteht eine Schnittfront 23 gemäß Fig. 1, von der aus der Austrieb der Schmelze 15 unmittelbar erfolgt. Optimale Bedingungen für hohe Schnittgeschwindigkeiten mit geringstmöglicher Wärmebeanspruchung der an der Schneidfuge 16 angrenzenden Bereiche 26 und oxidationsfreie Schnittkanten 16 lassen sich damit nicht erreichen. Erst durch den Einsatz der

erfindungsgemäßen Maßnahmen ist ein Übergang zu höheren Schnittgeschwindigkeiten möglich, bei der sich dann die Schnittfuge unten verschließt, d.h. daß die Schmelze zunächst bei Ausbildung einer Dampfkapillare in der Fuge verbleibt, wie in Fig. 2 dargestellt. Die Bildung und Aufrechterhaltung der Dampfkapillare ermöglicht es, daß die Schmelze vergleichsweise sehr flüssig bleibt. Mit der höheren Energieeinkopplung durch die so gebildete Dampfkapillare lassen sich höhere Schnittgeschwindigkeiten erzielen, und dadurch eine geringere Wärmebeanspruchung der Nachbarzonen 26 und der oxidationsfreien Schnittkanten. Figur 2 zeigt weiter, daß bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Schnittfront 23 wesentlich flacher liegt, nämlich mit einem Winkel von beispielsweise $65-75^{\circ}$, im Vergleich zum herkömmlichen Schneiden mit reiner bzw. praktisch ausschließlicher Fresnelabsorption, wo der Winkel nahe 90° ist, die Schnittfront 23 also sehr steil verläuft. Die flache Schnittfront 23 erklärt sich bei dünnen Blechen mit dem hohen Verhältnis aus Fokusbereich d_f und Blechdicke d , und zwar trotz der größeren Strahlintensität bzw. der stärkeren Fokussierung. Bei herkömmlichem Schneiden von zum Beispiel 3 mm dicken Blechen mit Fokusbereich $d_f = 3/10$ mm ergibt sich ein auf die Blechdicke d bezogenes Verhältnis von 1:10. Trotz höherer Strahlintensität infolge stärkerer Fokussierung auf zum Beispiel 6/100 mm ergibt sich bei einer Blechdicke von 0,2 mm ein Verhältnis von 3:10, so daß die Schnittfront bei maximaler Schnittgeschwindigkeit also flacher liegen muß, um den Laserstrahl vollständig einzukoppeln. Das bedeutet eine größere Wechselwirkungsfläche. Außerdem ergibt sich ein vergleichsweise großer Stau der Schmelze, da aufgrund der hohen Schnittgeschwindigkeit ein großer Volumenstrom gegeben ist und die maximale Geschwindigkeit der Schmelzeströmung begrenzt ist. U.a. deswegen erfolgt in Richtung der Pfeile 24 der Fig. 2 ein verstärktes

Verdampfen des Blechwerkstoffs. Zusammen mit der flacheren Schnittfront 23 verringert sich also die Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze 15 bei ihrem Austrieb, und die Metallverdampfungsrate steigt an, so daß bei den hohen Laserintensitäten ein abschirmendes Metaldampfplasma entstehen kann. Beides wird durch die Beimischung von Wasserstoff zum inerten Schneidgas vermieden. Der Wasserstoff bewirkt, daß die Oberflächenspannung der Schmelze verringert wird, so daß diese schneller ausgeblasen werden kann und damit Schmelzfildicke, Oberflächentemperatur und Verdampfungsrate sinken. Diesem Umstand kommt erhebliche Bedeutung zu, wenn beachtet wird, daß die Schnittfuge 16 zwar schmal und das Blech dünn ist, der auszutreibende Massenstrom (Masse pro Zeiteinheit) infolge der hohen Schnittgeschwindigkeit insgesamt jedoch sehr groß ist. Außerdem kühlen die leichten Moleküle des Wasserstoffs das Plasma und wirken so der Entstehung eines abschirmenden Metaldampfplasmas entgegen. Dadurch wird neben der Erhöhung der maximalen Schnittgeschwindigkeit auch die Stabilität des Schneidprozesses erhöht, was sich entsprechend positiv auf die Schnittqualität auswirkt.

In Fig. 2 ist die Laserstrahlung 11 mit einem im Bereich der Blechdicke d liegenden Fokus des Durchmessers d_f dargestellt. Die zugehörige Achse der Laserstrahlung 11 ist mit 18 gekennzeichnet. Die Gasdüse 13 ist ebenfalls rotationssymmetrisch ausgebildet, und ihre Achse ist mit 17 bezeichnet. Die Achse 17 ist hier ein Synonym für das Druckzentrum des Schneidgases 14, welches dem Schneidbereich 20 wie aus Fig. 1 ersichtlich zugeführt wird.

Bei der relativen Zuordnung der Gasdüse 13 und der Laserstrahlung 11 ist beachtenswert, daß die Achse 17 der Gasdüse 13 in bezug auf die Achse 18 der Laserstrahlung

11 mit einer Exzentrizität e angeordnet ist, und zwar in Richtung auf das ungeschnittene Blech 10 versetzt. Als Folge dieser vorlaufenden Düsenjustierung entsteht beim Eintritt des Schneidgases 14 in die Schnittfuge 16 ein transversaler Druckgradient in Längsrichtung der offenen Schnittfuge, also senkrecht zur Achse 18. Infolgedessen wird auf den entstehenden Metалldampf so Einfluß genommen, daß eine abschirmende Wirkung des Metалldampfplasmas vermieden werden kann. Außerdem wird die Schmelze in Richtung der vergleichsweise flachen Schnittfront 23 schneller abtransportiert. Obwohl also der Austriebsweg infolge der flacher liegenden Schnittfront 23 länger ist als bei steilerer Schnittfront, ergibt sich durch die Zusammenwirkung des die Oberflächenspannung der Schmelze verringernden Wasserstoffs mit der verbesserten transversalen Führung des Schneidgases ein verbesserter Austrieb der Schmelze 15.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, daß die Erzielung eines transversalen Druckgradienten des Schneidgases auch dadurch erreicht werden kann, daß die Gasdüse 13 mit zum Blech 10 geneigten Achsen 19 oder 19' angeordnet ist. Die Neigung und Anordnung der Achsen 19, 19' bestimmt in Verbindung mit der Neigung der Schnittfront 23 die Größe des transversalen Druckgradienten. Unterschiedlich ist bei der Anordnung der Achsen 19, 19', daß die Achse 19 die Schnittfront im Bereich der Achse 18 im Schneidbereich 20 schneidet, während die Achse 19' in Richtung des ungeschnittenen Blechs 10 vor dem vorgenannten Schnittpunkt liegt. Das Schneidgas 14 trifft auf die Schnittfront 23 und/oder auf das ungeschnittene Blech 10.

In Fig. 2 ist die Laserstrahlung 11 mit einem Fokus des Durchmessers d_f dargestellt. Der Strahlquerschnitt ist also kreisförmig. Die Laserstrahlung 11 kann aber auch vorzugsweise elliptisch bzw. länglich fokussiert sein. In diesem Falle ist d_f die Länge der großen Halbachse der Ellipse, wobei diese in Schneidrichtung angeordnet ist. Infolgedessen wird die Intensität der Laserstrahlung auf der flachen Schnittfront verringert und damit die Wechselwirkungsfläche beim Einkoppeln der Laserstrahlung in das Blech vergrößert. Dadurch kann der Schneidprozeß stabilisiert werden, weil die Plasmabildung und der Schmelzeaustrrieb besser kontrolliert werden können. Zugleich kann die Breite des Laserfokus klein gehalten werden und dementsprechend die Breite der Schnittfuge 16.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können Schnittgeschwindigkeiten von mehr als 100 m/min, vorzugsweise bis zu 250 m/min und mehr, bei oxidationsfreier Schnittkante erreicht werden. Aufgrund der hohen Schnittgeschwindigkeit ist die nachteilige Wärmebeeinflussung der Randzonen der Schnittfuge gering, was bei kornorientierten Elektroblechen besonders wichtig ist.

-15-

Ansprüche

1. Verfahren zum Laserstrahlschneiden von band- oder plattenförmigen Werkstücken, insbesondere von Elektroblech mit einer Dicke von < 1 mm, insbesondere $< 0,5$ mm, bei dem ein von einer Laserstrahlquelle ausgehender Laserstrahl den Werkstoff unter Bildung einer Dampfkapillare an der Schnittstelle aufschmilzt und dabei die Schmelze von einem Wasserstoff enthaltenden inerten Schneidgas ausgetrieben wird, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , daß zur Aufrechterhaltung der Dampfkapillare der Wasserstoffanteil des Schneidgases derart hoch eingestellt wird und das den Laserstrahl umhüllende inerte Schneidgas der Oberfläche der Schmelze an der Schnittstelle mit einem solchen Druck und einer solchen Druckverteilung zugeführt wird, daß die Dampfkapillare unten geschlossen bleibt, die Temperatur an der Oberfläche der Schmelze auf Verdampfungstemperatur gehalten und die Schmelze kontinuierlich auf der der Schneidrichtung abgewandten Seite der Dampfkapillare aus der Schnittfuge ausgetrieben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Schneidgas einen Anteil von bis zu 25 Vol.-% Wasserstoff enthält.

3. Verfahren nach Anspruche 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß bei einem CO₂-Laser als Laserstrahlquelle der Druck des Schneidgasgemisches zwischen 3 bar und 8 bar eingestellt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß bei einem Nd:YAG-Laser als Laserstrahlquelle der Druck des Schneidgasgemisches auf bis zu 50 bar eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Schneidgas Stickstoff oder Argon ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Schneidgas exzentrisch zur Laserstrahlachse geführt wird und vorlaufend auf die Schnittstelle auftrifft.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Schneidgas unter einem Winkel $< 90^{\circ}$ auf die Schnittstelle auftrifft.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der Laserstrahl auf einen ovalen Brennfleck mit in Schneidrichtung verlaufender Hauptachse fokussiert ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der fokussierte Brennfleck des Laserstrahls auf halber Höhe des Werkstückes gehalten wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der von einer Laserstrahlquelle ausgehende Laserstrahl von niedriger Modenordnung ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelze aus der Schnittfuge hinter der Dampfkapillare zusätzlich mit einem gasförmigen, flüssigen oder aus Partikeln bestehenden Zusatz-Strahl ausgetrieben wird.

1/1

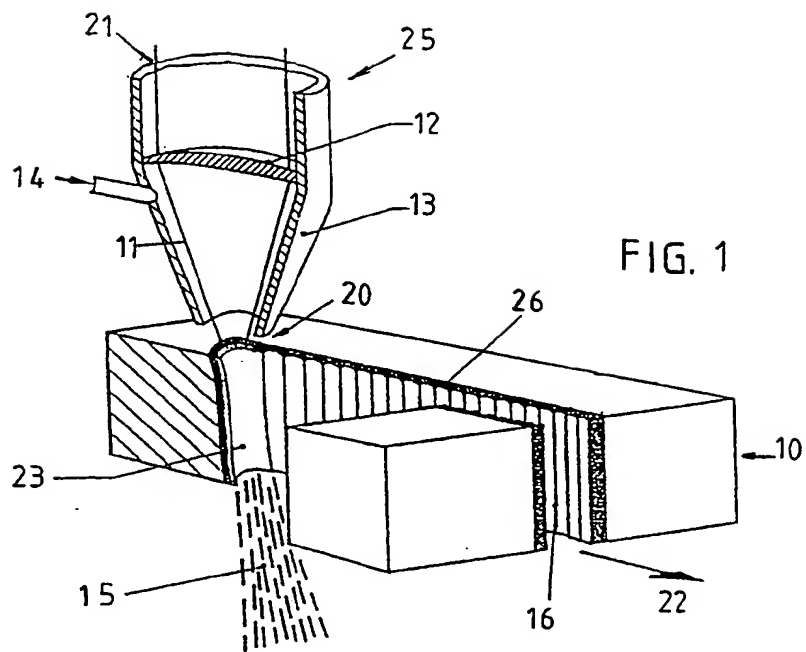


FIG. 1

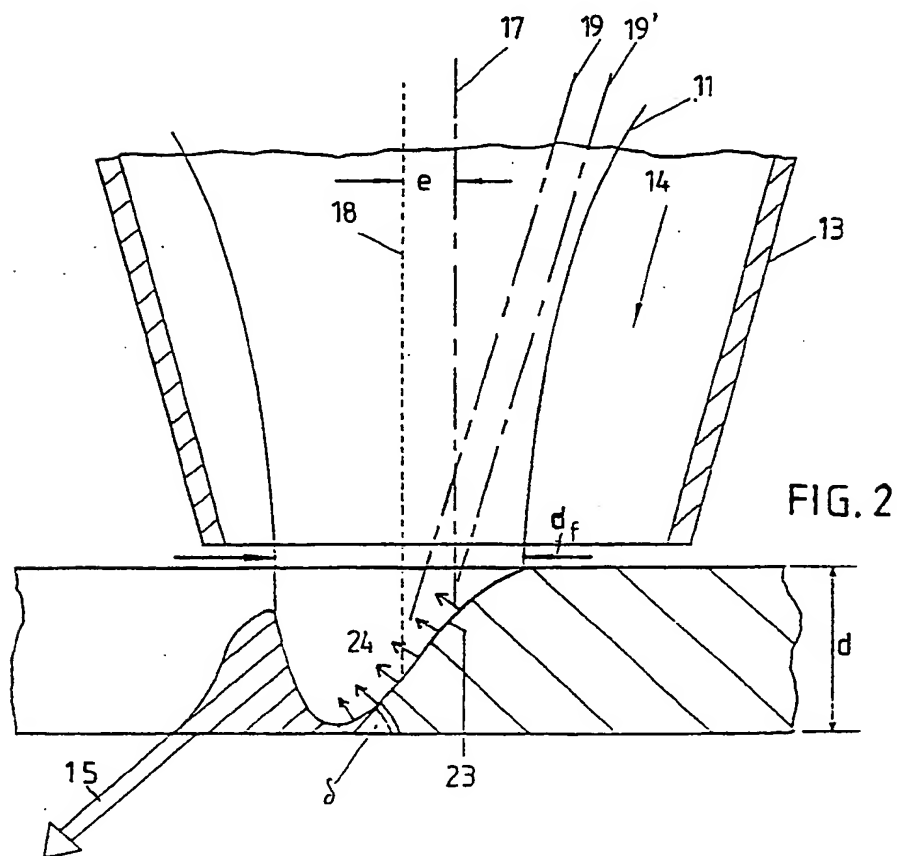


FIG. 2

ERSATZBLATT

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No
PCT/EP 93/02123

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 5 B23K26/12 B23K26/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 5 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	VDI ZEITSCHRIFT vol. 133, no. 6, June 1991, DUSSELDORF DE pages 46 - 56 XP237544 VON HARMUT ZEFFERER ET AL. 'Schmelzschneiden von hochlegierten Chrom-Nickel-Stählen mit CO ₂ -Laserstrahlung' see the whole document ---	1,3,4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 170 (M-817)21 April 1989 & JP,A,01 005 692 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 10 January 1989 see abstract --- -/--	1,2

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 November 1993

Date of mailing of the international search report

1 - 12 93

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.O. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 LV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Aran, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int: nal Application No
PCT/EP 93/02123

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 177 (M-960)9 April 1990 & JP,A,02 030 389 (HAYASHI SEIISHI) 31 January 1990 see abstract ---	1,5,9
A	FR,A,2 366 910 (LASAG AG) 5 May 1978 see page 1, paragraph 1 -paragraph 3 see page 4, line 25 - line 35 see page 7, line 4 - line 11 see page 9, line 26 - line 34 see page 12, line 27 - line 36 ---	1,2,7,10
A	WO,A,88 01553 (INSTITUTET FOR PRODUKTUDVIKLING) 10 March 1988 cited in the application see the whole document ---	1,6
A	GB,A,2 230 222 (INSTITUT AKADEMII NAUK LITOVSKOI SSR) 17 October 1990 see page 5, line 17 - line 30 see page 8, line 3 - page 9, line 11 see page 10, line 33 - page 11, line 7; figures 1,2 ---	1,11
A	EP,A,0 440 397 (E.I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY) 7 August 1991 see the whole document -----	1,4,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/EP 93/02123

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR-A-2366910	05-05-78	CH-A- 611192	31-05-79
		CH-A- 605010	29-09-78
		DE-A- 2740755	13-04-78
		GB-A- 1585609	11-03-81
		US-A- 4220842	02-09-80
WO-A-8801553	10-03-88	AU-A- 7919987	24-03-88
		DE-A- 3778531	27-05-92
		EP-A, B 0280712	07-09-88
		JP-T- 1500650	09-03-89
		US-A- 4871897	03-10-89
GB-A-2230222	17-10-90	WO-A- 9002628	22-03-90
		CH-A- 678028	31-07-91
		US-A- 5059256	22-10-91
EP-A-0440397	07-08-91	JP-A- 4238683	26-08-92
		US-A- 5168143	01-12-92

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 93/02123

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 5 B23K26/12 B23K26/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 5 B23K

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	VDI ZEITSCHRIFT Bd. 133, Nr. 6, Juni 1991, DUSSELDORF DE Seiten 46 - 56 XP237544 VON HARMUT ZEPPERER ET AL. 'Schmelzschnitten von hochlegierten Chrom-Nickel-Stählen mit CO ₂ -Laserstrahlung' siehe das ganze Dokument	1,3,4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 170 (M-817)21. April 1989 & JP,A,01 005 692 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 10. Januar 1989 siehe Zusammenfassung	1,2

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Field C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "I" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. November 1993

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12. 93

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Aran, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 93/02123

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 177 (M-960)9. April 1990 & JP,A,02 030 389 (HAYASHI SEIISHI) 31. Januar 1990 siehe Zusammenfassung ----	1,5,9
A	FR,A,2 366 910 (LASAG AG) 5. Mai 1978 siehe Seite 1, Absatz 1 - Absatz 3 siehe Seite 4, Zeile 25 - Zeile 35 siehe Seite 7, Zeile 4 - Zeile 11 siehe Seite 9, Zeile 26 - Zeile 34 siehe Seite 12, Zeile 27 - Zeile 36 ----	1,2,7,10
A	WO,A,88 01553 (INSTITUTET FOR PRODUKTUDVIKLING) 10. März 1988 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument ----	1,6
A	GB,A,2 230 222 (INSTITUT AKADEMII NAUK LITOVSKOI SSR) 17. Oktober 1990 siehe Seite 5, Zeile 17 - Zeile 30 siehe Seite 8, Zeile 3 - Seite 9, Zeile 11 siehe Seite 10, Zeile 33 - Seite 11, Zeile 7; Abbildungen 1,2 ----	1,11
A	EP,A,0 440 397 (E.I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY) 7. August 1991 siehe das ganze Dokument -----	1,4,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 93/02123

PCT/EP 93/02123

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR-A-2366910	05-05-78	CH-A- 611192	31-05-79
		CH-A- 605010	29-09-78
		DE-A- 2740755	13-04-78
		GB-A- 1585609	11-03-81
		US-A- 4220842	02-09-80

WO-A-8801553	10-03-88	AU-A- 7919987	24-03-88
		DE-A- 3778531	27-05-92
		EP-A, B 0280712	07-09-88
		JP-T- 1500650	09-03-89
		US-A- 4871897	03-10-89

GB-A-2230222	17-10-90	WO-A- 9002628	22-03-90
		CH-A- 678028	31-07-91
		US-A- 5059256	22-10-91

EP-A-0440397	07-08-91	JP-A- 4238683	26-08-92
		US-A- 5168143	01-12-92
